

РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗЛОМОВ РЕЛЬЕФА ПО ДАННЫМ LIDAR-СЪЁМКИ

Суханов В.И., Тимошенко С.И.

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
проспект Мира, 19, Екатеринбург, Свердловская обл., 620002, Россия
тел.: (343) 251-22-42, e-mail: v.i.sukhanov@urfu.ru

Аннотация — В данной работе рассмотрены методы распознавания изломов рельефа по данным LIDAR-съёмки. Полученные данные предложено аппроксимировать кардинальными кубическими сплайнами: для изогипс — в двумерном пространстве, для изломов рельефа — в трехмерном пространстве. Результаты работы могут быть использованы в задачах отслеживания динамики изменения рельефа местности.

RECOGNITION OF BREAKS RELIEF ACCORDING LIDAR-SHOOTING

Sukhanov V.I.¹, Timoshenko S.I.¹

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin
pr. Mira, 19, Yekaterinburg, Sverdlovsk region, 620002, Russian Federation
ph.: (343) 251-22-42, e-mail: v.i.sukhanov@urfu.ru

Abstract — This paper discusses methods of recognition breaks relief according LIDAR-shooting. The findings suggested to approximate the cardinal cubic splines: for isohypses - in two-dimensional space, for breaks relief - in three-dimensional space. The results can be used in tasks of tracking the dynamics of changes in the terrain

I. Введение

Отслеживание динамики изменения рельефа местности является важной задачей при проведении горных выработок, образованных при добыче полезного ископаемого открытым способом, исследовании селей, эрозии береговой линии и оврагов.

Получить исходные данные о рельефе местности в цифровой форме можно различными способами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В статье рассмотрено использование данных, полученных по технологии LIDAR (Light Imaging Detection and Ranging), широкое распространение которой в последнее время связано с удешевлением её стоимости [1].

LIDAR это технология получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления отражения света и его рассеяния в прозрачных и полупрозрачных средах [2]. Съёмка может вестись с летательного аппарата, с наземного или надводного транспортного средства или переносного комплекса. Привязка к глобальным системам координат производится GPS/ГЛОНАСС приёмником (рис. 1).

Результатом сканирования и предварительной обработки является облако точек с координатами (x, y, z). Плотность точек и траектория сканирования задаётся при настройке сенсора и его расположении. Они могут изменяться в широких пределах, обеспечивая требуемую точность измерений и их последующей обработки.

Результаты сканирования обычно размещаются в файлах спецификации LAS [3]. Файл LAS имеет расширение .las, содержит заголовок и набор измеренных данных. Спецификацией предусмотрено несколько форматов, определяющих траекторию движения луча сенсора и наличие дополнительной информации о цвете заснятой точки поверхности, времени съёмки и др. Заголовок файла содержит номер формата, имя координатной системы, минимальные и максимальные координаты полигона, число точек и др. Программное обеспечение для обработки las-файлов [3] позволяет

считывать и записывать любые требуемые данные заголовка и измеренных точек.

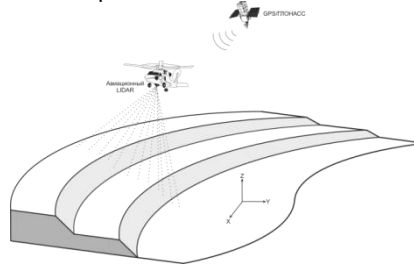


Рис. 1. Съёмка с борта летательного аппарата

При работе с облаком точек приходится учитывать неровности отснятой поверхности, помехи в измерениях, вызванные объектами растительного и искусственного происхождения. Точечные искажения можно устранить изотропной фильтрацией [4]. В общем случае способы устранения помех зависят от решаемых задач [5].

Рассматриваемые в статье методы можно применить для двух задач: построения изогипс и построения линий изломов.

Если ставится задача построения изогипс (изолиний одинаковых высот), то по оси z производится разбивка с определенным шагом облака точек. Получившиеся множества точек аппроксимируются для получения линий с координатами (x, y) на плоскости для каждого среза по высоте.

Если же требуется распознать изломы рельефа местности или бровки, то приходится искать пересечения поверхностей или плоскостей, а далее их аппроксимировать в трехмерном пространстве.

II. Основная часть

Для принятия решения о наклоне поверхности в точке p необходимо знание направления градиента в этой точке [6]:

$$\text{grad } Z(x_p, y_p) = \left(\frac{\partial Z(x, y)}{\partial x}, \frac{\partial Z(x, y)}{\partial y} \right)^T \Big|_{x=x_0, y=y_0} \quad (1)$$

В силу дискретного характера аппроксимирующей поверхности, целесообразно выполнить расчёт и усреднение оценок градиента по нескольким направлениям. Расчёт производится заменой производной на отношение приращений функции и аргумента (пробное движение). Величина пробного движения должна выбираться для каждой точки самостоятельно, в зависимости от характера рельефа или задаваться постоянным параметром. Для облака точек на регулярной сетке можно получить восемь оценок, соответствующих всем четвертям двух прямоугольных систем координат – основной и повернутой на 45 градусов.

Для нерегулярного облака точек следует произвести расчёт проекций градиента на все возможные направления соседних точек и усреднить их значения:

$$\text{grad } Z(x_p, y_p) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{grad}_i(x)}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n \text{grad}_i(y)}{n} \right)^T, \quad (2)$$

где $\text{grad}_i(x)$, $\text{grad}_i(y)$ – соответствующие разложения i -ой проекции в основной системе координат (X,Y); n – число вычисленных проекций градиента на направления.

Аппроксимируем некоторую окрестность точки регрессионной поверхностью первого порядка, задаваемой уравнением:

$$z = b_0 + b_1 \cdot (x - x_c) + b_2 \cdot (y - y_c), \quad (3)$$

где x_c , y_c – координаты центра окрестности.

Проблема выбора размера области эквивалентна выбору величины пробного движения при прямом вычислении градиента. Коэффициенты b_0 , b_1 , b_2 аппроксимирующего выражения отыскиваются методом наименьших квадратов (линейная регрессия). Тогда для всех точек аппроксимируемой области градиент будет оцениваться вектором:

$$\text{grad } Z(x_p, y_p) = (b_1, b_2)^T \quad (4)$$

После нахождения градиента высот в каждой точке p поверхности отыскиваются точки, лежащие на линиях излома. Такими точками являются те, у которых градиент существенно отличается от соседних точек. Отличия можно задать пороговыми значениями. Точки на изломе можно получить, находя точки на пересечении двух соседних плоскостей, разница градиентов которых превышает заданный порог.

В итоге будет получен набор точек на изломах с координатами (x, y, z), которые придется аппроксимировать трехмерными кривыми.

Для аппроксимации двумерных (изогипсы) и трехмерных (изломы) линий можно использовать кардинальные кубические сплайны [7], которые являются последовательностью N кубических полиномов, определяющихся управляющими точками

$v = \{x_n, y_n\}$ или $v = \{x_n, y_n, z_n\}$, $n = \overline{1, N+1}$, причем N существенно меньше аппроксимируемого числа точек M .

В качестве меры сходства аппроксимирующего сплайна и набора исходных точек можно использовать оценку площади $S(G, K)$ фигуры (для изогипс) или поверхности (для изломов), образованными аппроксимирующей кривой и

ломаной линией (рис. 2), соединяющей исходные точки [7]. Тогда поиск сплайна, наилучшим образом аппроксимирующего исходные точки, можно рассматривать как вычисление оптимальных коэффициентов v_{opt} , минимизирующих S :

$$v_{opt} = \arg \min_v S(G, K), \quad (5)$$

где G – последовательность исходных точек, K – управляющие точки аппроксимирующего сплайна.

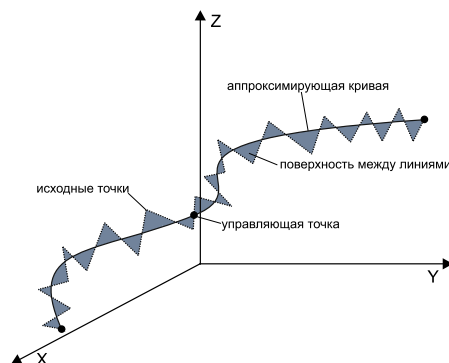


Рис. 2. Аппроксимация трехмерных исходных точек

Отслеживание динамики изменения рельефа местности сводится к сравнению изогипс или трехмерных линий изломов, полученных в разное время.

III. Заключение

В работе рассмотрены методы распознавания изломов рельефа по данным LIDAR-съемки. Полученные данные предложено аппроксимировать кардинальными кубическими сплайнами. Результаты работы могут быть использованы в задачах отслеживания динамики изменения рельефа местности.

IV. Литература

- [1] Рыльский И.А. Лазерное сканирование и космическая съемка – соревнование или партнерство. *Геоматика*, 2016, № 1, с. 10-18.
- [2] Лидар. *Википедия*. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Лидар>.
- [3] libLAS Documentation. *libLAS - LAS 1.0/1.1/1.2 ASPRS LiDAR data translation toolset*. Access mode: <http://www.liblas.org/docs.html>.
- [4] Jiang Jingjue, Zhang Zuxun, Ming Ying. Filtering of Airborne Lidar Point Clouds for Complex Cityscapes. *Geospatial Information Science*, 2008, Vol. 11, No 1, pp. 21-25.
- [5] Минимизация помех от данных лидаров при построении изогипс и анализе уклонов. *ArcGIS Pro*. Режим доступа: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/lidar-solutions-minimizing-noise-from-lidar-for-contouring-and-slope-analysis.htm>.
- [6] Суханов В.И., Загвозкина О.В. Построение бровок карьера по данным LIDAR-съемки. *Известия вузов. Горный журнал*, 2012, № 1, с. 34-38.
- [7] Вишневский В.В., Калмыков В.Г., Романенко Т.Н. Аппроксимация одно-, дву- и трехмерных дуг кривых параметрическими сплайнами. *Математичні машини і системи*, 2015, № 4, с. 57-64.